

CONTROL DE LAS PODREDUMBRES VERDE Y AZUL EN NARANJAS MEDIANTE TRATAMIENTOS DE POSCOSECHA CON SILICATO POTÁSICO

¹ Laboratori de Patologia,
Centre de Tecnologia Postcollita (CTP)
Institut Valencià d'Investigacions
Agràries (IVIA)
Montcada, València
E-mail: palou_llu@gva.es

² Campus Tabasco, Colegio de
Postgraduados
86500 H. Cárdenas, Tabasco, México
E-mail: moscoso@colpos.mx

INTRODUCCIÓN

Las principales enfermedades de poscosecha de cítricos en todo el mundo son las podredumbres verde (PV) y azul (PA) causadas por *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. y *P. italicum* Wehmer, respectivamente (Palou *et al.*, 2008). A pesar de la aplicación de fungicidas convencionales y de la implementación de algunas estrategias de control alternativas, la alta incidencia de PV y PA representa todavía importantes pérdidas económicas para el sector citrícola español. Debido a las crecientes restricciones en el uso de productos fitosanitarios en poscosecha, impuestas sobretudo por los mercados de exportación europeos, es necesario seguir desarrollando enfoques alternativos y nuevas tecnologías, basadas en métodos físicos, químicos de bajo riesgo y biológicos, para un control integrado y rentable de estas podredumbres (Droby *et al.*, 2009; Palou *et al.*, 2008).

El silicio (Si) se considera un nutriente vegetal funcional que juega un papel importante como un componente de las paredes celulares (Laing *et al.*, 2006). En agricultura, el Si se ha usado como fertilizante y para el control de plagas y enfermedades. Los primeros trabajos sobre el papel que juega el Si en el control de enfermedades de las plantas se iniciaron en la década de 1920. Más tarde se

Resumen

Se evaluaron la acción preventiva y curativa de tratamientos poscosecha con silicato de potasio (PSi) para el control de las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Valencia Late' y 'Lanelate' inoculadas artificialmente con los hongos *Penicillium digitatum* y *P. italicum*, respectivamente. La concentración más efectiva de PSi para controlar PV y PA en naranjas se seleccionó en pruebas primarias de efectividad *in vivo*. Después de 6 días de incubación a 20 °C, se observó que el PSi a 90 mM ejercía tanto una acción preventiva (inoculación fúngica posterior al tratamiento), con reducciones de incidencia del 23 y 52% para PV y PA, respectivamente, como curativa (inoculación fúngica anterior al tratamiento), con reducciones de incidencia del 23 y 40% para PV y PA, respectivamente). Para determinar las mejores condiciones de tratamientos por inmersión, PSi se aplicó en ensayos a pequeña escala en baños a temperaturas de 20 o 50 °C durante 60 o 150 s sobre naranjas 'Lanelate' inoculadas artificialmente antes o después del tratamiento e incubadas a 20 °C durante 7 días. Se seleccionaron baños a 20 °C durante 60 s, que posteriormente se aplicaron sobre naranjas 'Valencia Late' almacenadas a 5 °C y 90% HR durante 6 semanas. Los baños curativos con PSi a 90 mM redujeron efectivamente la incidencia y la severidad de ambas podredumbres durante el periodo de almacenamiento en frío mientras que los baños preventivos redujeron significativamente la severidad, pero no la incidencia de las podredumbres. Se puede concluir que tratamientos de poscosecha con PSi mostraron buen potencial para controlar PV y PA en naranjas y podrían formar parte de estrategias no contaminantes de control, adecuadas incluso para cítricos de producción ecológica puesto que en los EE UU el PSi se incluyó en 2010 en la lista de sustancias permitidas para la producción orgánica.

Summary

Preventive and curative antifungal activities of postharvest treatments with potassium silicate (PSi) against green (GM) and blue (BM) molds were evaluated on oranges (cvs. 'Valencia' or 'Lanelate') artificially inoculated in rind wounds with *Penicillium digitatum* and *P. italicum*, respectively. The most effective PSi concentration for antifungal activity was assessed in *in vivo* primary screenings. After 6 days of incubation at 20 °C, significant preventive (treatment before fungal inoculation) and curative (treatment after inoculation) activities against GM and BM were observed with PSi at 90 mM (GM and BM incidence reductions of 23 and 52%, and 23 and 40%, respectively). In order to determine the best dip treatment conditions, PSi at 90 mM was tested at 20 or 50 °C for 60 or 150 s in small-scale trials with 'Lanelate' oranges artificially inoculated before or after the treatment and incubated for 7 days at 20 °C. Dips at 20 °C for 60 s were selected and subsequently applied on inoculated 'Valencia' oranges stored at 5 °C and 90% RH for up to 6 weeks. Curative postharvest dips effectively reduced the incidence and severity of both GM and BM during cold storage, while preventive dips significantly reduced the severity but not the incidence. Overall, postharvest PSi treatments showed potential as a new tool to be part of non-polluting strategies to control penicillium decay of citrus fruit, even in the case of organic production because in the USA PSi was included in 2010 in the list of permitted substances for organic production.

demonstró por ejemplo que la adición de silicato de potasio (PSi; K_2SiO_3) a soluciones de nutrientes redujo la incidencia de mildiu polvoriento y las lesiones en tallo causadas por *Botrytis cinerea* en plantas de pepino (O'Neill, 1991). Mientras que el papel de las paredes celulares silicificadas en la protección de las plantas contra los patógenos no puede descartarse completamente, otros resultados sugieren que el Si actúa en la

activación y/o regulación de mecanismos de defensa naturales de las plantas (Chérif *et al.*, 1992; Samuels *et al.*, 1991). Aunque algunos de estos mecanismos específicos no son bien conocidos, sí se han citado otros como la acumulación de lignina o la síntesis de compuestos fenólicos y proteínas relacionadas con la patogénesis en plantas infectadas tratadas con Si (Chérif *et al.*, 1992; Epstein, 1999). Es interesante señalar que en EE

UU los tratamientos de PSi que no exceden el 1% (p/v) están exentos de la exigencia de tolerancia de residuos (US EPA, 2006) y que el PSi se incluyó en 2010 en la lista de sustancias aceptadas para la producción orgánica o ecológica. El único requisito es que el Si utilizado para la fabricación del PSi debe proceder de arena de origen natural (USDA AMS, 2010). En contraste con el PSi, cuya actividad antifúngica ha sido prácticamente evaluada sólo como tratamientos de campo en cultivos herbáceos, otra sal de Si, el silicato de sodio (SSi), sí ha sido probada como tratamiento poscosecha en algunas frutas o verduras. Por ejemplo, Bi *et al.* (2006) encontraron que la aplicación de SSi a 100 mM fue eficaz en el control de enfermedades causadas por los patógenos *Alternaria alternata*, *Fusarium semitectum* y *Trichothecium roseum* en frutos de melón 'Hami' inoculados artificialmente, mientras que la de SSi a 200 mM fue fitotóxica. De acuerdo con estos autores, el modo de acción del SSi fue preventivo, induciendo resistencia en el fruto a través de la activación de dos familias de enzimas relacionadas con la defensa natural, la peroxidasa y la quitinasa.

Existe poca información disponible sobre la actividad de compuestos de Si en frutos cítricos. Mathaba *et al.* (2009) encontraron que los tratamientos poscosecha con Si podían aliviar el daño por frío, especialmente en limones almacenados a baja temperatura por períodos prolongados. En cuanto a la actividad frente a patógenos de poscosecha de cítricos, Liu *et al.* (2010) reportaron que tratamientos con SSi controlaron significativamente la PV y sugirieron que el Si podía dañar la membrana plasmática de las esporas de *P. digitatum*. Además, Youssef *et al.* (2012) observaron que tratamientos con SSi, tanto de precosecha como de poscosecha, reducían significativamente el desarrollo de *P. digitatum* y *P. italicum* en naranjas y mandarinas. Resultados parecidos obtuvimos más recientemente en nuestro laboratorio con tratamientos poscosecha de SSi aplicados aproximadamente 24 h antes de la inoculación artificial de naranjas con *P. digitatum* o *P. italicum*. Sin embargo, estos tratamientos dejaron residuos de sal visibles y fueron potencialmente fitotóxicos sobre la piel del fruto (Moscoso-Ramírez y Palou, 2013). Ante la actividad prometedora del Si, aplicado como SSi, y

la falta de información sobre el desempeño del PSi, esta investigación se centró en la evaluación de las propiedades antifúngicas de los tratamientos poscosecha con PSi contra PV y PA. Los objetivos concretos de este estudio fueron: 1) determinar la concentración más efectiva de PSi para la actividad preventiva y curativa contra PV y PA en frutos de naranja, 2) optimizar las condiciones para el tratamiento con PSi por inmersión, y 3) evaluar la eficacia de los tratamientos de poscosecha con PSi durante el almacenamiento en frío prolongado en naranjas.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Fruta e inóculo fúngico

Los experimentos se realizaron con naranjas (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) cvs. 'Valencia Late' y 'Lanelate'. La fruta se recolectó en campos de producción comercial del área de Valencia y se almacenó hasta 5 días a 5 °C antes de su uso. Antes de cada experimento, los frutos fueron seleccionados, aleatorizados, lavados con agua del grifo y secados a temperatura ambiente. Los patógenos *P. digitatum* y *P. italicum* se obtuvieron de la colección de cultivos fúngicos del CTP del IVIA. Los hongos fueron resembrados y cultivados en placas Petri con medio patata dextrosa agar (PDA) e incubados a 25 °C durante de 7 a 14 días. Los conidios de cada patógeno se tomaron de la superficie de las placas y se preparó una suspensión en agua estéril con 0,05% (p/v) de Tween 80 de 10⁵ conidios/mL tras determinar la concentración con un hematócitómetro. Para la inoculación se utilizaron dos sistemas diferentes según el ensayo: uno de herida e inoculación conjuntas con la punta de un punzón de acero inoxidable de 1 mm de ancho y 2 mm de largo que se sumergió en la correspondiente suspensión de conidios y se insertó inmediatamente en la piel del fruto (Foto 1, pag. 183), y otro de inoculación con micropipeta en heridas de la piel realizadas con anterioridad (Foto 2, pag. 183).

2. Concentración efectiva para actividad preventiva y curativa

Se realizó una evaluación preliminar *in vivo* para determinar la concentración más efectiva para la actividad tanto preventiva como curativa del PSi contra PV y PA. Para la actividad preventiva, 30 µL

de solución de PSi a 0,9, 9 o 90 mM de ingrediente activo, se colocaron sobre una herida de 1 mm de diámetro y 2 mm de profundidad hecha con un punzón de acero inoxidable en la región ecuatorial de naranjas 'Valencia Late'. Unas 24 h más tarde, se colocaron con micropipeta 30 µL de suspensión de conidios a 10⁵ conidios/mL de *P. digitatum* o *P. italicum* en una nueva herida idéntica adyacente a la primera (aproximadamente 1-2 mm de separación entre heridas). Para evaluar la actividad curativa, se colocaron 30 µL de solución de PSi (Si-MATRIX®, 29,1% i.a. K₂SiO₃, PQ Corporation, Valley Forge, Pennsylvania, EE UU) a 0,9, 9, 30, 90 o 150 mM, usando una micropipeta, en el mismo sitio donde se había inoculado el hongo con punzón unas 24 h antes. La fruta control se trató con 30 µL de agua destilada estéril. Se utilizaron 4 repeticiones de 5 naranjas cada una para cada tratamiento. La fruta tratada se incubó a 20 °C y 90% HR durante 6 días. Se evaluaron la incidencia (% de heridas infectadas) y la severidad (diámetro de lesión en mm; Foto 3, pag. 183) de las podredumbres.

3. Selección de condiciones de baño

Se realizaron ensayos a pequeña escala utilizando naranjas 'Lanelate' para establecer las mejores condiciones de tratamiento de baño para simular aplicaciones comerciales potenciales en las empacadoras de cítricos. La inoculación de los hongos *P. digitatum* o *P. italicum* en heridas de la piel de los frutos se realizó con micropipeta a una concentración de 10⁵ conidios/mL. Los baños se realizaron en cubos de acero inoxidable (Foto 4, pag. 183) que contenían 10 L de una solución acuosa de PSi a 90 mM. Esta concentración de PSi se seleccionó de acuerdo con los resultados previos obtenidos en las pruebas preliminares *in vivo*. Cuando fue necesario, las soluciones de PSi se calentaron colocando los cubos en un tanque de acero inoxidable con capacidad de 250 L de agua, equipado con dos resistencias eléctricas (4,5 kW cada una), un termostato y un sistema de recirculación de agua automático (Foto 4). La fruta se colocó dentro de contenedores de acero inoxidable con paredes multiperforadas de 18 L de capacidad, ajustado al tamaño de los cubos antes mencionados, y completamente inmerso en la solución de tratamiento a 20 ó 50 °C

durante 60 o 150 s. Para evaluar la actividad preventiva, las inmersiones se realizaron aproximadamente 2 h antes de la inoculación de los hongos a las mismas temperaturas y tiempos de baño mencionados anteriormente. La fruta control se sumergió en agua sola a 20 °C durante 60 s. Para evaluar la actividad curativa, las inmersiones se realizaron aproximadamente 24 h después de la inoculación de los hongos. Después del tratamiento, la fruta no se enjuagó con agua del grifo. Cuarenta frutos por tratamiento (4 repeticiones de 10 frutos cada uno) se colocaron en alvéolos de plástico dispuestos sobre cajas de cartón y se incubaron a 20 °C y 90% HR durante 7 días. Se evaluó la incidencia y la severidad de las podredumbres después del periodo de incubación.

4. Efectividad durante la conservación frigorífica

Se evaluaron la actividad preventiva y curativa de soluciones acuosas de PSi contra PV y PA en naranjas 'Valencia Late' almacenadas en frío. Se usaron cubos de acero inoxidable que contenían 10 L de solución acuosa de PSi a 90 mM donde la fruta se sumergió a 20 °C durante 60 s. La Fruta se inoculó y se trató, o

viceversa, tal como se describió previamente y enseguida se almacenó hasta 6 semanas a 5 °C y 90% HR en una cámara frigorífica de las instalaciones del CTP del IVIA. La fruta control se sumergió en agua sola a 20 °C durante 60 s. Se usaron 4 repeticiones de 10 frutos cada uno por cada tratamiento. La incidencia y severidad de ambas podredumbres se evaluaron después de 2, 4 y 6 semanas a 5 °C.

5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con el software Statgraphics (Statgraphics Plus, v 5.1; Manugistics Inc., Rockville, Maryland, EE UU). Los datos de incidencia de las podredumbres se transformaron al arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción de heridas infectadas para asegurar la homogeneidad de varianzas. En algunos casos, las reducciones de incidencia de las podredumbres con respecto a los tratamientos control se calcularon como porcentajes. La significancia estadística se consideró en el nivel $P = 0,05$. Para separar medias se aplicó la prueba de la mínima diferencia significativa (MDS) de Fisher. Los valores mostrados son medias no transformadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Concentraciones efectivas

Entre las concentraciones de PSi evaluadas en esta serie de experimentos *in vivo* para prevenir PV y PA, la concentración de 90 mM inhibió significativamente el desarrollo de ambas podredumbres en naranjas 'Valencia Late' y fue claramente superior a las concentraciones de 0,9 y 9 mM. La incidencia de PV y PA se redujo en un 23 y 52%, respectivamente, cuando se aplicó PSi a 90 mM después de 6 días de incubación a 20 °C. Además, PSi a 90 mM redujo efectivamente la severidad de PV y PA, concretamente en un 74 y 67%, respectivamente (Fig. 1).

En las pruebas de actividad curativa, el tratamiento con PSi a 90 mM volvió a ser el más efectivo, reduciendo significativamente la incidencia de PV y PA en naranjas 'Valencia Late' en un 23 y 40%, respectivamente, después de 6 días de incubación a 20 °C. Del mismo modo, la severidad de PV y PA se redujo eficazmente por 57 y 66%, respectivamente, mediante el tratamiento de PSi a 90 mM. Por el contrario, los tratamientos con PSi a 0,9, 9, 30 y 150 mM no redujeron o redujeron muy ligeramente la incidencia y la severidad de ambas podredumbres (Fig. 1).

Estos resultados sugieren que el PSi actúa más probablemente como un regulador del crecimiento de plantas, que son típicamente más eficaces cuando se aplican a una concentración óptima (90 mM en este caso), que como un fungicida convencional, cuya eficacia aumenta gradualmente a medida que las dosis de aplicación aumenta (en este caso la eficacia fue mayor a 90 mM que a una concentración mayor de 150 mM). La eficacia del PSi a 90 mM en estos ensayos fue similar a la reportada en cítricos con tratamientos de SSi (Liu *et al.*, 2010; Moscoso Ramírez y Palou, 2013). No obstante, debido a los altos riesgos de fitotoxicidad asociados a tratamientos poscosecha con SSi (Moscoso Ramírez y Palou, 2013), puede concluirse que, desde un punto de vista práctico, los tratamientos poscosecha con PSi para el control de enfermedades resultan más adecuados para una posible implementación comercial que los tratamientos con SSi.

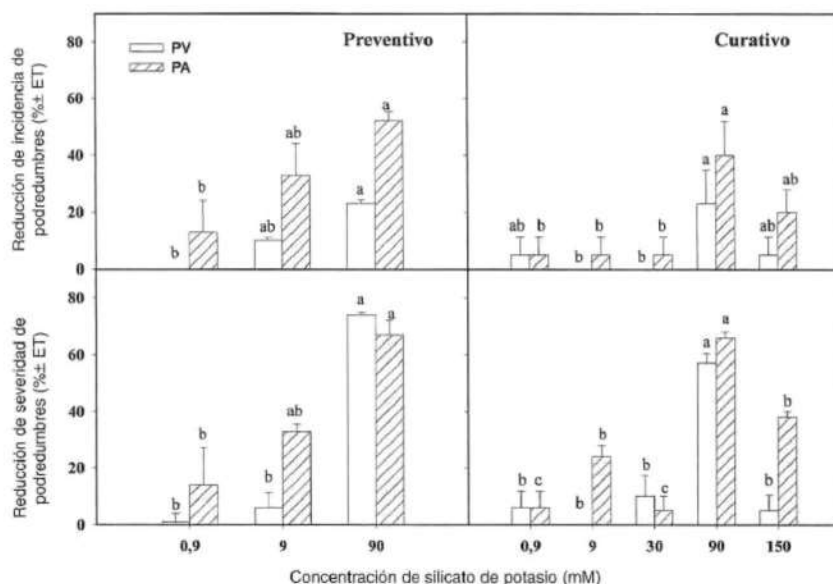


Fig. 1. Actividad preventiva y curativa del silicato de potasio (PSi) a diferentes concentraciones contra las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Valencia Late' inoculadas artificialmente con *Penicillium digitatum* o *P. italicum* e incubadas durante 6 días a 20°C. Se presentan las reducciones de incidencia y severidad de las podredumbres con respecto a la fruta control tratada con agua. Para cada podredumbre, columnas seguidas por letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de la MDS ($P \leq 0,05$) aplicada después de un ANOVA. Se aplicó la transformación arcoseno a los valores de incidencia. Se muestran las medias no transformadas.

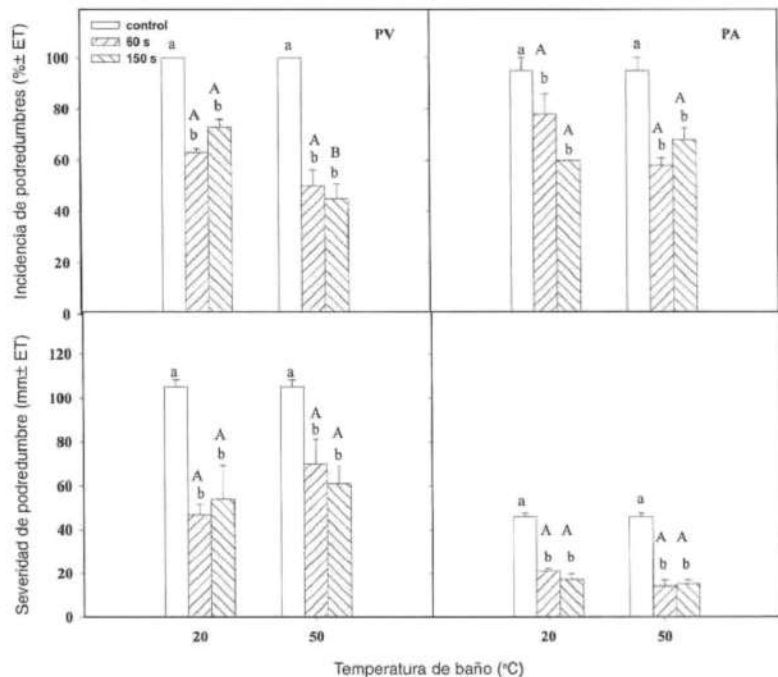


Fig. 2. Actividad preventiva de baños con silicato de potasio (PSi) a 90 mM contra las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Lanelate' tratadas durante 60 o 150 s a 20 o 50°C, inoculadas aproximadamente 2 h más tarde con *Penicillium digitatum* o *P. italicum* e incubadas durante 7 días a 20°C. La fruta control se sumergió en agua a 20 o 50°C durante 60 s. Para cada podredumbre y temperatura de baño, y para cada podredumbre y tiempo de inmersión, columnas con distintas letras minúsculas y mayúsculas, respectivamente, son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de la MDS ($P \leq 0,05$) aplicada después de un ANOVA. Se aplicó la transformación arcoseno a los valores de incidencia. Se muestran las medias no transformadas.

2. Selección de condiciones de baño

En estos ensayos y posteriores se utilizó una concentración de PSi de 90 mM por resultar la más efectiva en las anteriores pruebas preliminares *in vivo*. En las pruebas preventivas (Fig. 2), se observó que baños con PSi a 90 mM a 20 o 50 °C durante 60 o 150 s redujeron significativamente la incidencia de PV y PA en naranjas 'Lanelate' inoculadas aproximadamente 2 h después del tratamiento e incubadas durante 7 días a 20 °C. Con baños de 60 y 150 s esta reducción respecto a los tratamientos control (incidencia de PV y PA del 100%) fue del 37 y 27% en fruta bañada a 20 °C y del 50 y 55% en fruta bañada a 50 °C en el caso de la PV y del 18 y 37% y 40 y 28%, respectivamente, en el caso de la PA (Fig. 2). Del mismo modo, la severidad de ambas podredumbres se redujo de manera similar tras aplicaciones de PSi a 90 mM en estos ensayos preventivos. Los diámetros de las lesiones de PV y PA se redujeron desde 105 y 46 mm en la fruta control a 50-70 y 15-20 mm, respectivamente, en naranjas tratadas con PSi (Fig. 2).

En las pruebas de actividad curativa (Fig. 3), baños con PSi a 90 mM aplicados a 20 o 50 °C durante 60 o 150 s también redujeron significativamente la incidencia de PV y PA en naranjas 'Lanelate'

inoculadas 24 h antes del tratamiento e incubadas durante 7 días a 20 °C. Concretamente, baños de 60 y 150 s a 20 y 50 °C redujeron la incidencia de PV en un 35 y 38% y 40 y 62%, respectivamente. Por tanto, hubo un efecto significativo del tiempo de inmersión, pero sólo cuando los baños se realizaron a 50 °C. Esta tendencia también se observó para la incidencia de PA, con reducciones del 42 y 47%, y 35 y 57%, respectivamente, en la fruta tratada durante 60 y 150 s a 20 y 50 °C (Fig. 3). En cuanto a la severidad de ambas podredumbres, los resultados siguieron patrones muy similares, aunque las diferencias significativas entre los tiempos de inmersión sólo se observaron en naranjas bañadas a 50 °C en el caso de la PV (Fig. 3).

Tanto en las pruebas preventivas como en las curativas, la severidad de PV y PA en naranjas se redujo aproximadamente el doble cuando se aplicaron baños de PSi a temperatura ambiente durante 60 s. En general, los tiempos de inmersión y temperaturas no influenciaron significativamente la eficacia de los baños con PSi, de forma que se seleccionaron baños a temperatura ambiente (20 °C) durante 60 s para aplicarlos en los ensayos posteriores. Este es un resultado importante, que podría facilitar la adopción comercial de tratamientos de poscosecha con PSi en centrales cítrico-

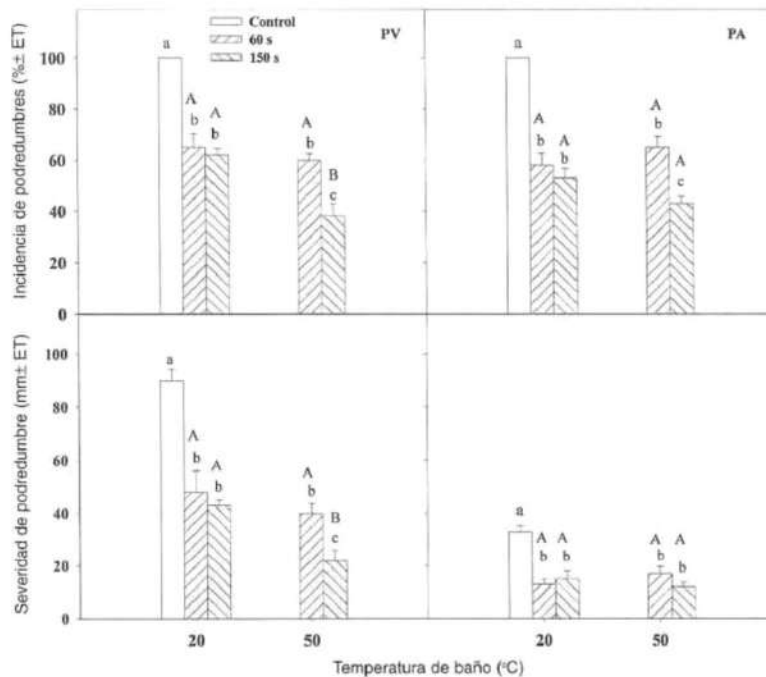


Fig. 3. Actividad curativa de baños con silicato de potasio (PSi) a 90 mM contra las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Lanelate' inoculadas artificialmente con *Penicillium digitatum* o *P. italicum*, tratadas durante 60 o 150 s a 20 o 50°C aproximadamente 24 h más tarde e incubadas durante 7 días a 20°C. La fruta control se trató con agua a 20°C durante 60 s. Para cada podredumbre y temperatura de baño, y para cada podredumbre y tiempo de inmersión, columnas con distintas letras minúsculas y mayúsculas, respectivamente, son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de la MDS ($P \leq 0,05$) aplicada después de un ANOVA. Se aplicó la transformación arcoseno a los valores de incidencia. Se muestran las medias no transformadas.

las, ya que los costos de implementación y aplicación de soluciones no calentadas serían considerablemente inferiores a la de las soluciones calentadas a temperaturas de 40-50 °C.

3. Efectividad durante la conservación frigorífica

Después de 2 semanas de almacenamiento a 5 °C y 90% HR, la incidencia tanto de PV y PA en naranjas 'Valencia Late' inoculadas artificialmente 2 h después del tratamiento (actividad preventiva) fue totalmente reducida por la aplicación de baños de PSi a 90 mM durante 60 s a 20 °C. Sin embargo, en ese momento, la incidencia de PV y PA en la fruta control era sólo del 23 y 20%, respectivamente. Después de 4 y 6 semanas de almacenamiento en frío, el PSi a 90 mM no mostró efecto protector, ya que la incidencia de PV y PA en fruta tratada no fue significativamente diferente de la de la fruta control (Fig. 4). En general, los tratamientos con PSi redujeron significativamente la severidad de PV y PA durante todo el periodo de almacenamiento de 6 semanas a 5 °C. Los diámetros de las lesiones de PV después de 4 y 6 semanas en las naranjas control y en las tratadas con PSi fueron de 93 y 48 mm, y 200 y 159 mm, respectivamente. En el caso de PA, estos diámetros fueron 48 y 35 mm, y 100 y 84 mm, respectivamente (Fig. 4).



Foto 1. Inoculación fúngica de naranjas en heridas de la piel con punzón.



Foto 2. Inoculación fúngica de naranjas en heridas de la piel con micropipeta.



Foto 3. Evaluación de la severidad en naranjas infectadas con *Penicillium digitatum*.



Foto 4. Bañadora termostata utilizada para los baños en soluciones calientes de silicato potásico y detalle de las cestas y cubos de acero inoxidable utilizados para los baños.

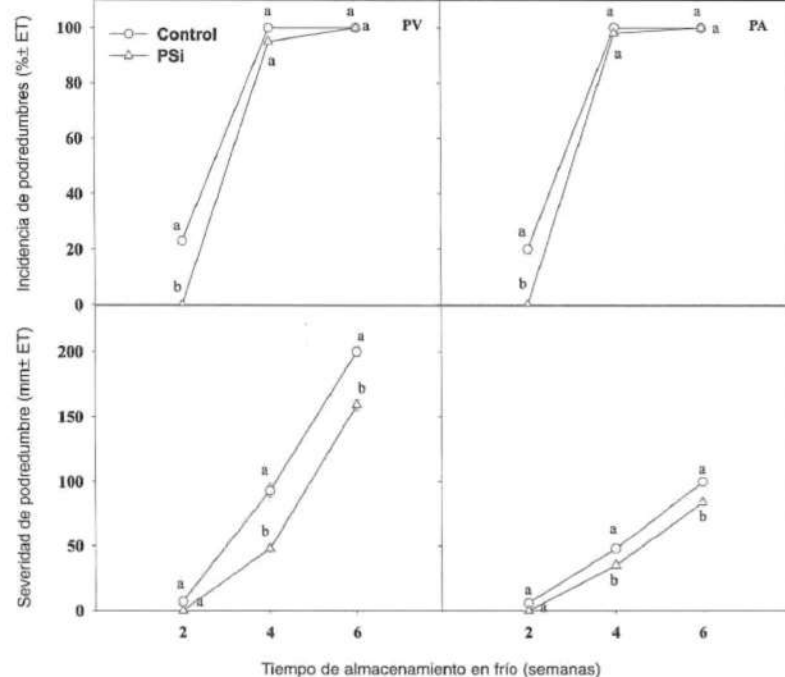


Fig. 4. Actividad preventiva de baños con silicato de potasio (PSi) a 90 mM contra las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Valencia Late' tratadas durante 60 s a 20°C, inoculadas artificialmente con *Penicillium digitatum* o *P. italicum* aproximadamente 2 h más tarde, y almacenadas a 5°C y 90% HR durante 6 semanas. Para cada podredumbre y fecha de evaluación, medias con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de la MDS ($P \leq 0,05$) aplicada después de un ANOVA. Se aplicó la transformación arco-seno a los valores de incidencia. Se muestran las medias no transformadas.

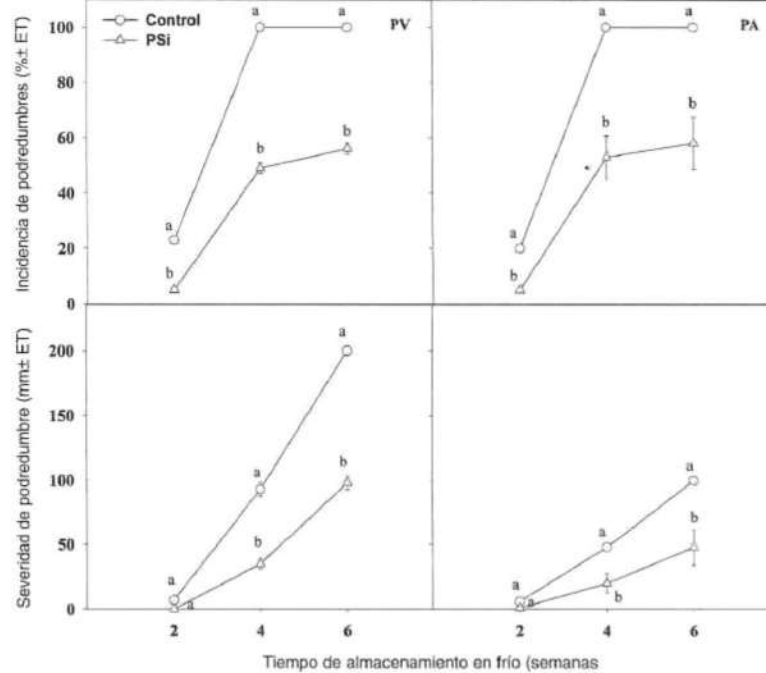


Fig. 5. Actividad curativa de baños con silicato de potasio (PSi) a 90 mM contra las podredumbres verde (PV) y azul (PA) en naranjas 'Valencia Late' inoculadas artificialmente con *Penicillium digitatum* o *P. italicum*, tratadas durante 60 s a 20°C unas 24 h más tarde y almacenadas a 5°C y 90% HR durante 6 semanas. Para cada podredumbre y fecha de evaluación, medias con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de la MDS ($P \leq 0,05$) aplicada después de un ANOVA. Se aplicó la transformación arco-seno a los valores de incidencia. Se muestran las medias no transformadas.

Sin embargo, en los ensayos curativos, la incidencia tanto de PV como de PA en naranjas 'Valencia Late' inoculadas 24 h antes del tratamiento y almacenadas hasta 6 semanas a 5 °C sí se redujo significativamente por la aplicación de baños de PSi a 90 mM durante 60 s a 20 °C. Al final del período de almacenamiento en frío, la incidencia de enfermedad se redujo hasta en un 45% con respecto a la fruta control (incidencia de PV y PA de 100%; Fig. 5). El tratamiento con PSi a 90 mM también redujo efectivamente la severidad de PV y PA durante el almacenamiento en frío a 5 °C. Mientras que los diámetros de lesión de PV y PA al final de la semana 6 de almacenamiento fueron respectivamente de 200 y 98 mm en la fruta control, éstos fueron de 100 y 48 mm en las naranjas tratadas con PSi (Fig. 5).

A pesar de las diferencias observadas entre los resultados de actividad preventiva y curativa, se puede concluir que un tratamiento comercial con PSi podría ser potencialmente beneficioso para la preservación de frutos cítricos almacenados en frío durante periodos de tiempo relativamente largos.

En conclusión, los resultados de este trabajo indican que tratamientos de poscosecha con soluciones acuosas de PSi a concentraciones alrededor de 90 mM (1,39 g/L, 1,4% i.a.) aplicados como baños de unos 60 s a temperaturas ambientales muestran un potencial importan-

te para la reducción de las pérdidas ocasionadas por las podredumbres por *Penicillium* spp. en naranjas tanto en el caso de comercialización directa como en el almacenamiento frigorífico prolongado. Por tanto, y suponiendo que estos resultados se validasen positivamente en ensayos comerciales a gran escala y se obtuviese un registro comercial para el producto, estos tratamientos podrían ser de utilidad para mercados convencionales que, como muchas cadenas importantes alemanas, británicas o francesas, imponen restricciones particulares del límite máximo de residuos (LMR) permitido en cítricos. También podrían ser de aplicación en producción integrada, e incluso en producción ecológica si se siguiese el ejemplo de la legislación norteamericana, que desde 2010 incluye el PSi en la lista de sustancias sintéticas permitidas para su utilización en producción orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Fontestad S.A. (Montcada, València) la colaboración prestada en el suministro de fruta y asistencia técnica. Este estudio fue parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto AGL2004-05271) y la Unión Europea (Programa FEDER). Pedro Moscoso disfrutó de una beca predoctoral financiada por el "Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México" (CONACYT-124182-México).

Referencias bibliográficas

- Bi, Y., Tian, S.P., Guo, Y.R., Ge, Y.H. 2006. Sodium silicate reduces postharvest decay on Hami melons: Induced resistance and fungistatic effects. *Plant Dis.* 90: 279-283.
- Chérif, M., Benhamou, N., Menzies, J.G., Bélanger, R.R. 1992. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Phytophthora blight*. *Phytopathol. Mol. Plant Pathol.* 41: 411-425.
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarasin, D., Wilson, C.L. 2009. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biol. Technol.* 52: 137-145.
- Epstein, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 641-664.
- Laing, M.D., Gatarayih, M.C., Adandonon, A. 2006. Silicon use for pest control in agriculture: A review. *Proc. South African Sugar Technol. Assoc.* 80: 278-286.
- Liu, J., Zong, Y., Qin, G., Li, B., Tian, S. 2010. Plasma membrane damage contributes to antifungal activity of silicon against *Penicillium digitatum*. *Curr. Microbiol.* 61: 274-279.
- Mathaba, N., Tesfay, S., Bower, J.P., Bertling, I. 2009. The potential of postharvest silicon dips to mitigate chilling injury in citrus fruit with special emphasis on lemon (c.v. Eureka). *Proc. 1st Annu. Res. Day, Silicon in Agriculture. South African Sugar Association, Durban, South Africa.*
- Moscoso-Ramírez, P.A., Palou, L. 2013. Evaluation of postharvest treatments with chemical resistance inducers to control green and blue molds on orange fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 85: 132-135.
- O'Neill, T.M. 1991. Investigation of glasshouse structure, growing medium and silicon nutrition as factors affecting disease incidence in cucumber crops. *Medelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent.* 56: 359-367.
- Palou, L., Smilanick, J.L., Droby, S. 2008. Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue molds. *Stewart Postharv. Rev.* 2:2. pp. 1-16.
- Samuels, A.L., Glass, A.D.M., Ehret, D.L., Menzies, J.G. 1991. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. *Plant Cell Environ.* 14: 485-492.
- USDA AMS (United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service). 2010. 7 CFR 205.601. National Organic Program; Amendments to the National List of Allowed and Prohibited Substances (Crops and Processing). Section 205.601: Synthetic Substances Allowed for Use in Organic Crop Production. Final rule. *Fed. Reg.* 75(238): 77521-77524.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2006. 40 CFR 180.1268. Potassium Silicate; Exemption from the Requirement of a Tolerance. Final rule. *Fed. Reg.* 71(114): 34267-34272.
- Youssef, K., Ligorio, A., Sanzani, S.M., Nigro, F., Ippolito, A. 2012. Control of storage diseases of citrus by pre- and postharvest application of salts. *Postharvest Biol. Technol.* 72: 57-63.